

KINETIKA REAKSI MINYAK KULIT BIJI METE DAN FORMALDEHID DENGAN KATALISATOR NaOH

Kinetics of Reactions between Cashew Nut Shell Liquid and Formaldehyde Using Sodium Hydroxide as Catalyst

Ragil Widyorini¹, Ida Bagus Agra², T.A. Prayitno¹

Program Studi Teknik Kimia

Program Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

ABSTRACT

Utilization of Cashew Nut Shell Liquid (CNSL) in Indonesia is quite limited. The objectives of this research were to make phenolic adhesive from CNSL and formaldehyde using sodium hydroxide catalyst, and to study the kinetics of the reaction.

The process was initiated by heating CNSL and a certain amount of sodium hydroxide in the reactor. At the same time, formaldehyde was heated in another vessel. As soon as the reaction temperature was reached, the two reactants were quickly mixed. Samples were withdrawn at certain intervals, then after being separated, the bottom layers were analyzed for their free formaldehyde contents using the sodium sulfite method. The top layers was used as adhesive and was tested its glue-line strength with block test of meranti's wood.

The reaction was found to be second order with respect to CNSL and formaldehyde concentrations. Based on the Reynolds index and the increase of the rate constant caused by a 10°C increase of temperature, it was obvious that the rate was controlled by chemical reaction. The value of the rate constant was changed on the minutes of 20. The rate constant, k , was affected by temperature exponentially, while the speed of stirrer, mgmol ratio of CNSL to formaldehyd, and concentration of catalyst showed logarithmic relations with k . Based on wood failure and glue-line strength, the results showed that CNSL adhesives could not be used as a single adhesive yet, but it might have a chance to substitute up to 40% of phenol adhesive. The composition of 40% CNSL adhesive and 60% phenol adhesive was in corformation with the Indonesian Industrial Standard and had glue-line strength of 22.21 kg/cm^2 and percentage of wood failure of 31.67%.

Keywords : *kinetics of the reaction, cashew nut shell liquid, wood failure, glue-line strength*

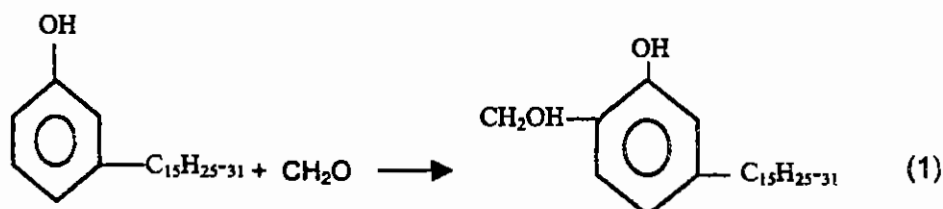
-
1. Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada
 2. Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

PENGANTAR

Minyak kulit biji mete (MKBM) merupakan hasil samping pengolahan biji mete. Kadar minyak dalam kulit biji mete bervariasi antara 20–30%. Menurut Tyman (Muljohardjo, 1990), MKBM mengandung turunan fenol, yaitu $\pm 82\%$ asam anakardat, $\pm 13,8\%$ kardol, dan $\pm 1,6\%$ kardanol, yang mempunyai kemampuan bereaksi dengan formaldehid. MKBM belum banyak dimanfaatkan di Indonesia. Untuk memperluas penggunaannya, MKBM diolah menjadi perekat kayu dengan maksud agar dapat menggantikan kedudukan fenol (sebagian atau seluruhnya) dalam perekat sintesis nantinya.

Reaksi antara MKBM dan formaldehid hampir sama dengan reaksi antara fenol dengan formaldehid, yang berlangsung melalui dua tahap, yaitu reaksi adisi dan reaksi kondensasi. Menurut Haupt dan Sellers (1994), semakin tinggi kadar metilol semakin banyak terbentuk ikatan silang dan mempercepat terjadinya kondensasi. Reaksi kondensasi diharapkan banyak terjadi pada saat perekat dilaburkan lalu dipanaskan.

Menurut Freman dan Lewis (Kirk dan Othmer, 1954), reaksi antara fenol dan formaldehid dengan NaOH berlangsung secara bertahap dengan terbentuknya mono metilol fenol terlebih dahulu dengan kecepatan reaksi pembentukan *o*-metilol fenol dan *p*-metilol fenol hampir sama. Gugus alkil yang cukup panjang ($-C_{15}H_{25-31}$) pada posisi meta yang terdapat dalam MKBM, menyebabkan perbedaan kereaktifan pada posisi kedua orto dan para. Kemungkinan masuknya formaldehid yang paling mudah adalah melalui posisi orto yang berseberangan dengan gugus alkil itu, karena gugus alkil ($C_{15}H_{25-31}$) akan mempengaruhi ruang gerak, seperti terlihat pada persamaan reaksi berikut ini.



Dalam waktu yang relatif singkat (60 menit atau kurang) dan suhu kurang dari 100°C , metilol didominasi oleh mono metilol. Reaksi yang terjadi dapat disederhanakan menjadi:



Persamaan kecepatan reaksi (2) dapat ditulis sebagai berikut:

$$(-r_p) = \frac{-dC_p}{dt} = k.C_f.C_p \quad (3)$$

Karena jalannya reaksi diikuti dengan menganalisis formaldehid bebas yang masih ada pada setiap saat dan diasumsikan hasil reaksi sebagian besar adalah mono metilol, maka C_p diganti dengan suatu bentuk yang mengandung C_f . Setelah dimasukkan dan diintegrasikan, persamaan (3) menjadi

$$\ln \left[\frac{C_f}{C_f - C_{f0}(1-M)} \right] = C_{f0}(1-M) k.t + \text{konstante} \quad (4)$$

Bila grafik hubungan antara $\ln \left[\frac{C_f}{C_f - C_{f0}(1-M)} \right]$ dengan waktu, t , membentuk garis lurus, maka reaksi berorde dua terhadap MKBM dan formaldehid. Nilai k dicari dari nilai tangen arah dibagi dengan $\{C_{f0}(1-M)\}$.

Dengan pengadukan yang sebaik-baiknya mungkin reaksi kimia yang mengontrol proses, dan hal ini dapat dibuktikan dengan melihat pengaruh suhu dan kecepatan pengadukan terhadap konversi dan tetapan kecepatan reaksi, k .

Pada penelitian oleh Wamijati (1971) tentang pembuatan fenol formaldehid ditemukan adanya penurunan nilai konstante kecepatan reaksi sesudah proses berlangsung selama 190 menit akibat perubahan orde reaksi oleh terjadinya reaksi samping. Karena reaksi MKBM hampir sama dengan reaksi fenol, mungkin juga akan dijumpai adanya perubahan nilai konstante kecepatan reaksi akibat berubahnya tingkat reaksi atau akibat munculnya reaksi lain, misalnya reaksi antara metilol.

Metilol dari MKBM yang akan dipakai sebagai perekat, perlu diuji terlebih dahulu kekuatan rekatnya, dan karena nilainya belum diketahui, maka metilol hasil penelitian ini perlu dicampur dengan fenol formaldehid (yang sudah diketahui mempunyai kekuatan rekat yang tinggi) dengan perbandingan tertentu.

Tujuan penelitian adalah mempelajari kinetika reaksi MKBM dan formaldehid dengan katalisator NaOH, dan juga untuk mengetahui kekuatan rekatnya jika dicampur dengan fenol formaldehid.

CARA PENELITIAN

Minyak kulit biji mete (MKBM) diperoleh langsung dari PT Tohoku Java Industries di Demak. Cairan yang berwarna coklat kehitaman, mempunyai berat jenis 0,9648 g/mL pada 30 °C, kadar air 0,5%, kekentalan 2 g/(cm.s), titik didih 360 °C, dan kadar turunan fenolnya 9,6124 mgmol/gram.

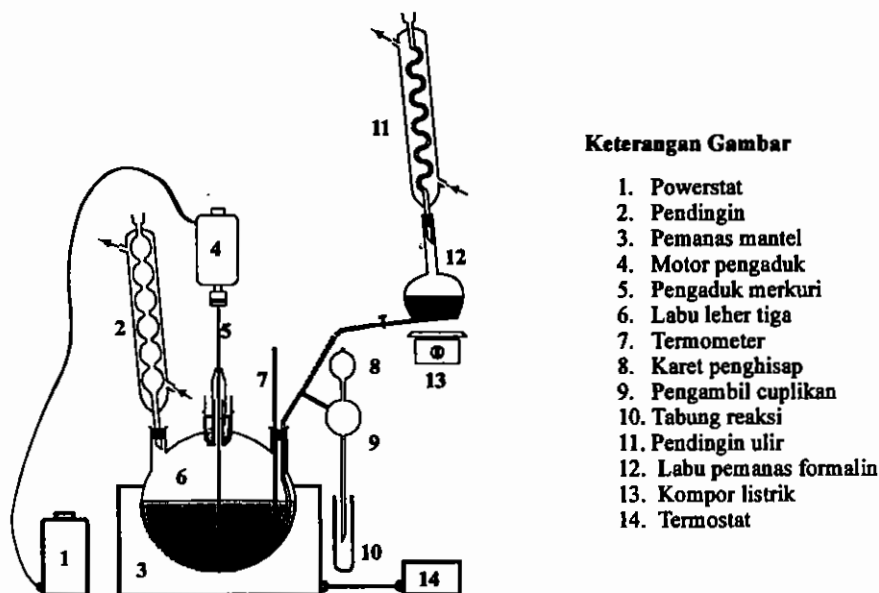
Formalin teknis yang dibeli di UD Indrasari Semarang mempunyai berat jenis 1,087 g/mL dan kadar formaldehidnya 34,91% (12,648 mgmol/mL).

Soda api pro analisis (p.a.), sebagai katalisator berasal dari Laboratorium Pengolahan Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada.

Perekat fenol formaldehid sebagai pencampur hasil MKBM, berasal dari Laboratorium Pengolahan Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada dengan kadar fenol formaldehid 50 %.

Kayu meranti sebagai kayu yang direkat, dibeli di toko kayu di Yogyakarta.

Susunan alat yang lengkap terlukis pada gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian alat percobaan reaksi MKBM dengan formaldehid

Proses diawali dengan memanaskan MKBM dan NaOH dalam reaktor dan formalin pada tempat yang terpisah. Setelah suhu reaksi tercapai, kedua reaktan dicampur dengan cepat. Pada setiap selang waktu tertentu, cuplikan diambil kemudian dipisahkan. Lapisan bawah dianalisis kadar formalin bebasnya dengan bantuan natrium sulfat. Data yang dikumpulkan adalah volume total campuran, perbandingan volume lapisan atas dan bawah, dan konsentrasi formaldehid bebasnya. Lapisan atas digunakan sebagai perekat dan ditentukan kekuatan rekatnya dengan uji blok. Pengujian dilakukan dengan

variabel perbandingan jumlah perekat fenol formaldehid dan hasil penelitian dalam campuran.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kisaran peubah yang dipelajari pada penelitian ini adalah suhu (313,65 K - 370,65 K), kecepatan pengadukan (417 - 833 ppm), perbandingan mgmol fenol - formaldehid (0,4393 - 0,9154), dan konsentrasi katalisator NaOH (0 - 0,0208 mgmol/mL). Hasil yang diperoleh tertera pada daftar I sampai IV, dan dilukis pada gambar 2 sampai 9.

Pembuktian hasil berupa mono metilol

Pembuktian dilakukan dengan mengambil salah satu hasil dan menguji kandungan turunan fenol dengan analisis Br_2 , kemudian dibandingkan dengan kondisi mula-mula. Hasil berupa mono metilol adalah benar jika jumlah Br_2 yang bereaksi dengan inti fenol hasil lebih kurang $\frac{2}{3}$ kali jumlah Br_2 yang bereaksi dengan inti fenol dalam MKBM mula-mula, sebab titik reaktif mono metilol tinggal 2.

Contoh hasil yang diuji adalah pada kondisi reaksi suhu 351,65 K, kecepatan pengadukan 595 ppm, perbandingan MKBM/formaldehid 0,6460 mgmol/mgmol, dan konsentrasi katalisator NaOH 0,0150 mgmol/mL. Dari hasil penelitian, jumlah Br_2 yang bereaksi dengan inti fenol pada keadaan mula-mula sebesar 1,47127 mgmol untuk 0,05 gram MKBM, sedangkan pada hasil dengan berat yang sama, jumlah Br_2 yang bereaksi dengan inti fenol mencapai 0,99845 mgmol atau 0,67863 ($\pm \frac{2}{3}$) kali keadaan mula-mula.

Berat molekul turunan fenol dalam MKBM mula-mula sebesar 336,73 g/gmol, sedangkan berat molekul hasil (sesudah bereaksi dengan formaldehid) sebesar 745,90 g/gmol. Data ini menunjukkan bahwa pada akhir reaksi sudah terbentuk reaksi lain sedikit-sedikit, yaitu penggabungan 2 mono metilol, tetapi polimerisasi lebih lanjut belum banyak terjadi.

Pengaruh waktu dan suhu reaksi

Hasil penelitian yang tertera pada daftar I menunjukkan bahwa semakin panjang waktu reaksi, konsentrasi formaldehid semakin menurun, karena semakin banyak yang bereaksi dengan MKBM. Suhu yang semakin tinggi memperkecil konsentrasi formaldehid yang tersisa, karena gerakan molekul-molekul pereaksi yang semakin besar, menyebabkan reaksi berlangsung lebih cepat. Pada suhu 370,65 K terdapat kesulitan dalam menangani masalah penggumpalan atau terbentuknya gel yang mungkin disebabkan oleh terjadinya reaksi kondensasi yang semakin banyak. Oleh karena itu, pada percobaan seterusnya digunakan suhu 351,65 K.

Daftar I. Pengaruh waktu dan suhu reaksi(N = 595 ppm, M = 0,646 mgmol/mgmol, $C_{kat} = 0,015$ mgmol/mL)

t, waktu (menit)	Cf, konsentrasi formaldehid setiap saat pada berbagai suhu (K) (mgmol/mL)					
	313,65	324,65	337,65	343,65	351,65	370,65
5	4,3207	4,0640	3,6669	3,5030	3,1615	3,0867
10	4,1441	3,8834	3,5149	3,4332	3,0482	2,9257
15	4,0261	3,7636	3,3846	3,2898	2,9359	2,8163
20	3,8563	*	*	3,1559	2,8222	2,7074
30	3,7260	3,5875	3,2216	3,0262	2,7405	2,6455
45	3,6588	3,4966	3,0947	2,9848	2,6880	2,6092
60	3,5973	3,4276	3,0199	2,8988	2,6195	2,5309
$k_{5-20} (10^3)^{1)}$	4,2710	4,9060	6,6812	7,2640	11,9450	16,3270
Ralat rerata, %	0,4808	0,3831	0,0087	1,4471	0,9871	0,5259
Koefisien korelasi	0,9959	0,9969	1,0000	0,9828	0,9953	0,9986
$k_{20-60} (10^3)^{2)}$	1,1932	1,3062	2,7868	2,8988	4,8504	5,9924
Ralat rerata, %	0,9837	0,1712	0,5630	1,3626	0,8742	1,4847
Koefisien korelasi	0,9702	0,9986	0,9946	0,9735	0,9939	0,9814

Keterangan :

* tidak dilakukan pengambilan data.

1) konstante kecepatan reaksi pada 20 menit pertama, mL/mgmol/men

2) konstante kecepatan reaksi pada 20 – 60 menit, mL/mgmol/men

Jika digambar hubungan antara $\ln [C_f / (C_f - C_{f_0}(1-M))]$ dengan waktu untuk berbagai suhu, titik-titik data yang diperoleh dapat dikatakan membentuk garis lurus dengan pembelokan arah pada sekitar waktu reaksi 20 menit untuk semua suhu (lihat gambar 2). Apabila dihitung nilai k untuk tiap-tiap tahap dengan menggunakan persamaan (4), diperoleh nilai k_{5-20} sebesar 2,397 – 3,756 kali nilai k_{20-60} seperti tampak pada daftar I. Perbedaan nilai konstante kecepatan reaksi ini mungkin disebabkan oleh sudah mulai terjadi

reaksi samping yang berupa kondensasi. Dari daftar I dapat dilihat bahwa kenaikan suhu 10°C meningkatkan nilai k_{5-20} lebih kurang sebesar 1,15 - 1,64 kali dan k_{20-60} lebih kurang sebesar 1,09 - 1,67 kali. Jadi dapat dikatakan bahwa reaksi kimia yang mengendalikan jalannya reaksi. (Westertep dkk., 1984)

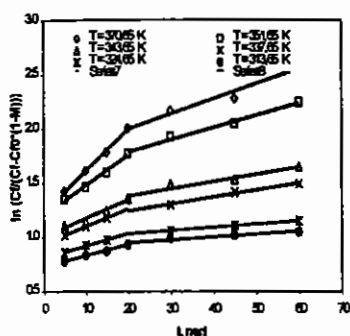
Suhu reaksi mempengaruhi k secara eksponensial (gambar 3), dengan persamaan untuk tiap-tiap tahap:

$$k_{5-20} = 38,4685 e^{(-2891,592/T)} \quad (5)$$

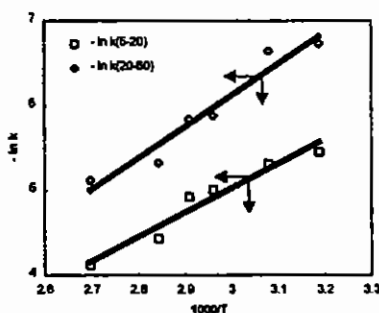
dan

$$k_{20-60} = 142,9223 e^{(-3694,07/T)} \quad (6)$$

dengan kesalahan rata-rata k hasil penelitian masing-masing sebesar 9,88% dan 13,15%.



Gambar 2. Hubungan $\ln \left[\frac{C_f}{C_f - C_{f0}(1-M)} \right]$ dengan waktu pada berbagai suhu



Gambar 3. Hubungan antara $\ln k$ dengan $10^3/T$

Dari persamaan di atas diperoleh tenaga pengaktif E masing-masing bernilai 5725,35 cal/gmol dan 7314,12 cal/gmol, serta faktor frekuensi A sebesar 38,4685 mL/(mgmol.men) dan 142,9223 mL/(mgmol.men). Persamaan ini berlaku pada kisaran suhu 313,65 - 370,65 K.

Untuk lebih memperkuat kesimpulan bahwa reaksi kimia yang mengendalikan jalannya proses, selanjutnya akan ditinjau pengaruh kecepatan putaran pengaduk.

Pengaruh kecepatan putaran pengaduk

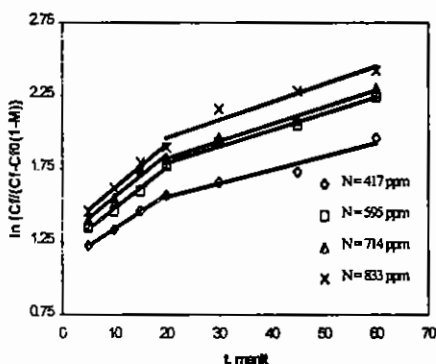
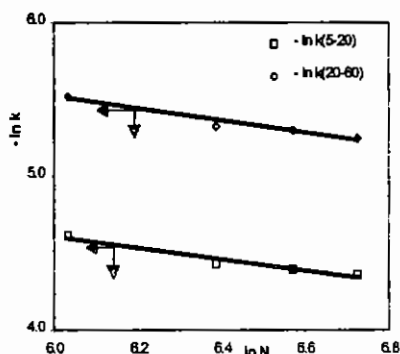
Dari daftar II terlihat bahwa kecepatan putaran pengaduk yang semakin cepat menyebabkan kesempatan bagi zat-zat pereaksi untuk saling bertumbukan semakin luas. Hal ini mengakibatkan formaldehid yang bereaksi semakin banyak, walaupun pengurangan konsentrasi formaldehid tidak begitu kentara dengan naiknya kecepatan putaran pengaduk.

Daftar II. Pengaruh kecepatan pengadukan(Suhu = 351,65 K, M = 0,646 mgmol/mgmol, $C_{kat} = 0,015$ mgmol/mL)

t, waktu (menit)	Cf, konsentrasi formaldehid setiap saat (mgmol/mL) pada berbagai kecepatan pengadukan (ppm)			
	417	595	714	833
5	3,3202	3,1615	3,1096	3,0515
10	3,1833	3,0482	2,9741	2,9242
15	3,0511	2,9359	2,8382	2,8101
20	2,9602	2,8222	2,7974	2,7553
30	2,8953	2,7405	2,7271	2,6478
45	2,8481	2,6880	2,6746	2,6089
60	2,7258	2,6195	2,6029	2,5693
$k_{5-20} (10^3)^{1)}$	9,9120	11,9450	12,3320	12,7531
Ralat rerata, %	0,2968	0,9871	1,3325	0,7707
Koefisien korelasi	0,9993	0,9953	0,9861	0,9951
$k_{20-60} (10^3)^{2)}$	4,0001	4,8504	4,9930	5,2640
Ralat rerata, %	1,6374	0,8742	0,7980	2,1191
Koefisien korelasi	0,9712	0,9939	0,9945	0,9643

Keterangan :

- 1) konstante kecepatan reaksi pada 20 menit pertama, mL/mgmol/men
- 2) konstante kecepatan reaksi pada 20 – 60 menit, mL/mgmol/men

Gambar 4. Hubungan $\ln [Cf / \{Cf - Cf_0(1-M)\}]$ dengan waktu pada pengaruh NGambar 5. Hubungan antara $\ln k$ dengan $\ln N$

Hubungan antara $\ln [C_f / \{C_f - C_{f0}(1-M)\}]$ dengan waktu untuk berbagai kecepatan putaran pengaduk yang terlukis pada gambar 4, juga membentuk garis lurus dengan kecenderungan seperti pada pengaruh suhu, yaitu adanya pembelokan arah pada waktu sekitar menit ke 20. Nilai konstante kecepatan reaksi untuk tiap-tiap tahap dihitung, dan hasilnya menunjukkan nilai k pada 20 menit pertama sebesar 2,423 - 2,478 kali nilai k pada menit 20 - 60.

Untuk memperkuat bahwa reaksi kimia merupakan langkah yang menentukan kecepatan reaksi keseluruhan, maka perlu dicari indeks Reynolds dari persamaan hubungan antara k dengan bilangan Reynolds (Re) yang dapat diwakili oleh kecepatan putaran pengaduk (N).

Hubungan antara $\ln k$ dengan $\ln N$ dapat dilihat pada gambar 5 dan setelah diubah dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$k_{5-20} = 0,0011 \cdot N^{0,3674} \quad (8)$$

dan

$$k_{20-60} = 0,000379 \cdot N^{0,3931} \quad (9)$$

dengan kesalahan hasil penelitian rata-rata 1,98% dan 1,83 %.

Dari nilai indeks Reynolds yang diperoleh yaitu 0,3674 dan 0,3931, yang jauh lebih rendah dari 0,5, maka makin jelaslah bahwa proses pembentukan MKBM-formaldehid dengan katalisator NaOH, benar-benar dikendalikan oleh reaksi kimia.

Pengaruh perbandingan pereaksi

Pengaruh perbandingan MKBM-formaldehid ($M = C_{p0}/C_{f0}$) terhadap perubahan konsentrasi formaldehid pada setiap saat dan nilai konstante kecepatan reaksi disajikan pada daftar III. Nilai M yang semakin kecil atau jumlah formaldehid yang semakin besar memungkinkan terjadinya tumbukan kedua reaktan menjadi semakin besar, sehingga jumlah formaldehid yang bereaksi meningkat.

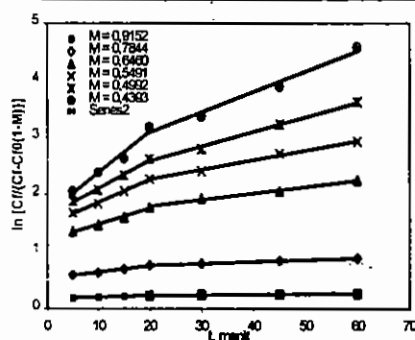
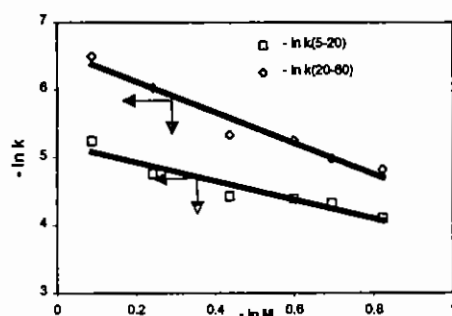
Hubungan antara $\ln [C_f / \{C_f - C_{f0}(1-M)\}]$ dengan waktu juga membentuk garis lurus dengan kecenderungan pembelokan arah pada sekitar menit ke 20 (gambar 6). Hasil ini semakin memperkuat bahwa selama proses terjadi perubahan nilai k yang disebabkan oleh terjadinya reaksi samping. Nilai k_{5-20} 2 - 3,5 kali nilai k_{20-60} .

Daftar III. Pengaruh perbandingan pereaksi ($M = C_{p0}/C_{f0}$)(Suhu = 351,65 K, N = 595 ppm, $C_{kat} = 0,015$ mgmol/mL)

t, waktu (menit)	Cf, konsentrasi formaldehid setiap saat (mgmol/mL) pada berbagai perbandingan MKBM/formaldehid (mgmol/mgmol)					
	0,4393	0,4992	0,5491	0,6460	0,7844	0,9152
5	5,0275	4,3892	3,9590	3,1615	2,9030	2,6794
10	4,8268	4,2557	3,8235	3,0482	2,7822	2,5093
15	4,7229	4,1172	3,6870	2,9359	2,5879	2,3861
20	4,5698	4,0107	3,5865	2,8222	2,4465	2,2863
30	4,5339	3,9593	3,5327	2,7405	2,3742	2,2002
45	4,4694	3,8710	3,4433	2,6880	2,2803	2,1497
60	4,4234	3,8193	3,3965	2,6195	2,2177	2,0523
$k_{5-20} (10^3)^{-1}$	16,5956	13,3031	12,4225	11,9450	8,5811	5,2620
Ralat rerata, %	2,1661	1,0749	0,6058	0,9871	0,9475	0,4471
Koefisien korelasi	0,9865	0,9963	0,9983	0,9953	0,9928	0,9976
$k_{20-60} (10^3)^{-2}$	8,1043	6,8814	5,2435	4,8504	2,3938	1,5056
Ralat rerata, %	2,1271	0,7847	0,6537	0,8742	0,3812	0,5996
Koefisien korelasi	0,9853	0,9974	0,9973	0,9939	0,9973	0,9891

Keterangan :

- 1) konstante kecepatan reaksi pada 20 menit pertama, mL/mgmol/men
- 2) konstante kecepatan reaksi pada 20 – 60 menit, mL/mgmol/men

Gambar 6. Hubungan $\ln [C_f/(C_f - C_{f0}(1-M))]$ dengan waktu pada pengaruh MGambar 7. Hubungan antara $\ln k$ dengan $\ln M$

Pengaruh perbandingan mgmol MKBM-formaldehid terhadap k bersifat logaritmik dengan persamaan:

$$k_{5-20} = 0,0055 \cdot M^{-1,38} \quad (10)$$

dan

$$k_{20-60} = 0,0004 \cdot M^{-2,28} \quad (11)$$

dengan kesalahan hasil penelitian rata-rata 9,65% dan 9,51%.

Pengaruh konsentrasi katalisator

Pengaruh konsentrasi katalisator, seperti terlihat pada daftar IV, menunjukkan bahwa semakin banyak katalisator, semakin banyak MKBM yang teraktifkan oleh NaOH, sehingga reaksi berjalan semakin cepat. Pemakaian katalisator yang berlebihan menyebabkan terjadinya gel, karena reaksi kondensasi berjalan dengan cepat sebelum reaksi adisi sempurna. Reaksi tanpa katalisator juga dapat terjadi, walaupun dengan kecepatan yang relatif kecil. Jika dibandingkan dengan yang memakai katalisator 0,0060 mgmol/mL, ternyata k reaksi tanpa katalisator hanya kira-kira sepertiga, dan seperlima nilai k yang memakai katalisator.

Daftar IV. Pengaruh jumlah katalisator

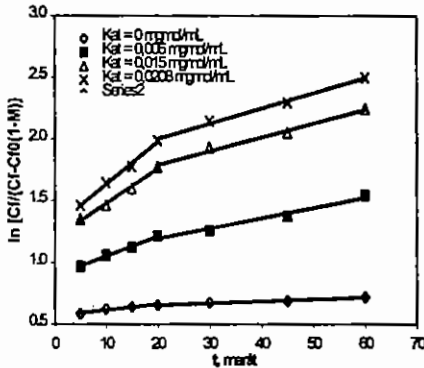
(N = 595 ppm, M = 0,646 mgmol/mgmol, suhu = 351,65 K)

t, waktu (menit)	Cf, konsentrasi formaldehid setiap saat (mgmol/mL) pada berbagai konsentrasi katalisator (mgmol/mL)			
	Tanpa katalisator	0,0060	0,0150	0,0208
5	5,3050	3,7772	3,1615	3,0527
10	5,0652	3,5866	3,0482	2,9055
15	4,9722	3,4765	2,9359	2,8206
20	4,8736	3,3309	2,8222	2,7137
30	4,7868	3,2785	2,7405	2,6532
45	4,7149	3,1369	2,6880	2,6049
60	4,5767	2,9789	2,6195	2,5520
$k_{5-20} (10^3)^{1)}$	1,9966	6,8444	11,9450	14,7286
Ralat rerata, %	1,0831	0,7588	0,9871	1,0157
Koefisien korelasi	0,9773	0,9969	0,9953	0,9964
$k_{20-60} (10^3)^{2)}$	0,6343	3,5450	4,8504	5,2891
Ralat rerata, %	0,5068	2,2479	0,8742	0,7614
Koefisien korelasi	0,9901	0,9873	0,9939	0,9973

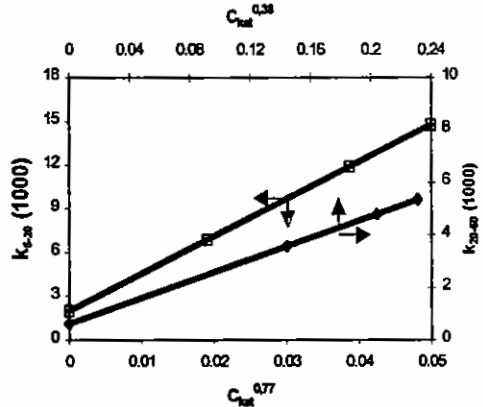
Keterangan :

- 1) konstante kecepatan reaksi pada 20 menit pertama, mL/mgmol/men
- 2) konstante kecepatan reaksi pada 20 – 60 menit, mL/mgmol/men

Bila dibuat grafik hubungan antara $\ln [C_f / \{C_f - C_{f0}(1-M)\}]$ dengan waktu, diperoleh garis lurus yang memperlihatkan kecenderungan patah pada menit ke 20 (gambar 8), seperti pada pengaruh peubah-peubah yang lain. Nilai k pada 20 menit pertama antara 1,9 – 3 kali nilai k pada menit selanjutnya.



Gambar 8. Hubungan $\ln [C_f / \{C_f - C_{f0}(1-M)\}]$ dengan waktu pada pengaruh C_{kat}



Gambar 9. Hubungan antara $\ln k$ dengan $\ln C_{kat}$

Menurut Walas (1959), hubungan antara k dengan C_{kat} (gambar 9) dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$k_{5-20} = 0,001992 + 0,2556 (C_{kat})^{0,77} \quad (12)$$

dan

$$k_{20-60} = 0,000633 + 0,02032 (C_{kat})^{0,38} \quad (13)$$

dengan kesalahan k hasil penelitian sebesar 0,37% dan 1,03 %.

Pengujian kekuatan rekat

Untuk mengetahui keberhasilan perekatan MKBM-formaldehid, diadakan pengujian memakai dua parameter sebagai tolok ukur, yaitu kekuatan rekat dan persentase kerusakan kayu. Kekuatan rekat merupakan tolok ukur yang utama dalam analisis keberhasilan perekatan, sedangkan persentase kerusakan kayu merupakan unsur penunjang yang tidak dapat berdiri sendiri.

Komposisi yang memenuhi standar persentase kerusakan kayu menurut SII 0404-80 dan kekuatan rekatnya cukup baik adalah 40% perekat MKBM formaldehid dan 60% perekat fenol formaldehid dengan nilai kekuatan rekatnya sebesar 22,21 kg/cm² dan kerusakan kayu rata-rata sebesar 31,67%. Hasil penelitian itu menunjukkan bahwa perekat MKBM-formaldehid berpeluang untuk menggantikan kedudukan fenol sebagai perekat sampai 40%, walaupun belum mampu digunakan sebagai perekat tunggal.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan berikut.

1. Reaksi minyak kulit biji mete dengan formaldehid dengan katalisator NaOH dikendalikan oleh reaksi kimia yang berorde dua terhadap konsentrasi minyak kulit biji mete dan formaldehid.

2. Perubahan nilai konstante kecepatan reaksi, akibat adanya reaksi samping, terjadi pada waktu reaksi berjalan sekitar 20 menit.

3. Konstante kecepatan reaksi, k , dipengaruhi oleh suhu secara eksponensial, tetapi secara logaritmik oleh perbandingan mol minyak-formaldehid, kecepatan putaran pengaduk, dan jumlah katalisator.

4. Campuran 40% MKBM formaldehid dan 60% fenol formaldehid dapat memenuhi persyaratan Standar Industri Indonesia, dan kekuatan rekatnya sebesar 22,21 kg/cm² dan kerusakan kayu rata-rata sebesar 31,67%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penyusun mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Sri Warnijati Agra dan Bapak Ir. Panut Mulyono, M.Eng., D.Eng., yang telah memberikan saran-saran perbaikan dalam seminar penelitian. Kepada PT Java Tohoku Industries yang telah memberikan bahan baku penelitian, seluruh karyawan Laboratorium Proses Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, dan Laboratorium Pengolahan Hasil Hutan, Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, dan semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini, penyusun mengucapkan terima kasih.

ARTI LAMBANG

C_f	=	konsentrasi formaldehid pada setiap saat, mgmol/mL
C_{f_0}	=	konsentrasi formaldehid mula-mula, mgmol/mL
C_{kat}	=	konsentrasi katalisator (NaOH), mgmol/mL
C_p	=	konsentrasi turunan fenol dalam minyak kulit biji mete pada setiap saat, mgmol/mL
C_{p_0}	=	konsentrasi turunan fenol dalam minyak kulit biji mete mula-mula, mgmol/mL
F	=	formaldehid
k	=	konstanta kecepatan reaksi berorde dua, mL/(mgmol.men)
KK	=	persentase kerusakan kayu
KR	=	kekuatan rekat
M	=	perbandingan C_{p_0}/C_{f_0}

MF	= metilol fenol
N	= kecepatan putaran pengaduk, ppm
P	= kadar turunan fenol dalam minyak kulit biji mete
$(-r_p)$	= kecepatan reaksi, mgmol turunan fenol/(mL.men)
t	= waktu, menit
T	= suhu reaksi, °C atau K

DAFTAR PUSTAKA

- Haupt, R.A. and Sellers Jr, T., 1994, "Characterizations of Phenol Formaldehyde Resol Resins", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 33, 693 - 697.
- Kirk, R.E. and Othmer, D.F., 1954, "Encyclopedia of Chemical Technology", vol.17, pp. 372 - 415, The Interscience Encyclopedia, Inc., New York.
- Muljoharjo, M., 1990, "Jambu Mete dan Teknologi Pengolahannya (Anacardium Occidentale L.)", pp. 39-70, 169-185, Liberty, Yogyakarta.
- Wallas, S.M., 1959, "Reaction Kinetics for Chemical Engineers", p. 52, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- Warnijati, S., 1971, "Kinetika Reaksi Phenol dan Formaldehid pada Saat-saat Permulaan", *Forum Teknik*, 1, 2, 125 - 135.
- Westerterp, K.R., Swaaij, W.P.M.V., and Beenackers, A.A.C.M., 1984, "Chemical Reactors Design and Operations", pp. 49-52, John Wiley and Sons, New York.